

## **Suivi multitemporel de l'évolution des plantes aquatiques envahissantes par télédétection au lac de Guiers, Sénégal**

**Charles DIEDHIU<sup>1\*</sup> et Dome TINE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université Iba Der Thiam, Institut Universitaire de Technologie, Laboratoire de Télédétection Appliquée, BP 967 Thies, Sénégal*

<sup>2</sup> *Université Cheikh Anta Diop, Département de Géographie, Laboratoire de Télédétection Appliquée, BP 5005 Dakar, Sénégal*

(Reçu le 01 Octobre 2022 ; Accepté le 23 Novembre 2022)

---

\* Correspondance, courriel : [charles.diedhiou@univ-thies.sn](mailto:charles.diedhiou@univ-thies.sn)

### **Résumé**

Le lac de Guiers constitue la plus grande réserve d'eau douce du Sénégal. Il joue un rôle important dans le maintien de la biodiversité, dans l'approvisionnement en eau de boisson et dans les activités agricoles, de pêche et de tourisme. Malgré ses multiples fonctions, le lac est sujet à une forte colonisation par les plantes aquatiques envahissantes qui nuisent à son bon fonctionnement. La mise en fonction du barrage anti-sel de Diama en 1986, a provoqué de sérieux problèmes d'eutrophisation des eaux du lac, d'envahissement rapide de son lit par la végétation aquatique. Cette étude a pour objectif de cartographier et de suivre la dynamique de la prolifération de la végétation aquatique au lac de Guiers, avant et après la mise en service du barrage de Diama. La démarche méthodologique est basée sur l'analyse de la dynamique interannuelle de la prolifération des plantes aquatiques sur le plan d'eau du lac de 1973 à 2019, en utilisant l'outil télédétection. L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) a été appliqué sur les images Landsat, suivi d'un seuillage basé sur la valeur minimale et maximale du NDVI. Les résultats montrent une régression de la végétation aquatique passant de plus de 5000 ha en 1977 à environ 1000 ha en 1985 avant la construction du barrage de Diama. La période « après barrage » est marquée par une extension de la végétation aquatique atteignant entre 2015 et 2019 des proportions trois (3) fois supérieures (environ 10 000 ha) à la superficie moyenne calculée sur la période « avant-barrage » (environ 3000 ha). Il ressort de cette étude que la dynamique de la prolifération des végétaux sur le lac est contrastée d'une année à une autre.

**Mots-clés :** *Lac de Guiers, Landsat, télédétection, végétation aquatique.*

### **Abstract**

**Multitemporal monitoring of the evolution of invasive aquatic plants by remote sensing at Lake Guiers, Senegal**

Lake Guiers is the largest freshwater reserve in Senegal. It plays an important role in the maintenance of biodiversity, in the supply of drinking water and in agricultural, fishing and tourism activities. Despite its multiple functions, the lake is subject to heavy colonization by invasive aquatic plants that interfere with its

proper functioning. The operation of the Dama anti-salt dam in 1986, has caused serious problems of eutrophication of the lake waters, rapid invasion of its bed by aquatic vegetation. The objective of this study is to map and monitor the dynamics of the proliferation of aquatic vegetation in Lake Guiers, before and after the commissioning of the Dama dam. The methodological approach is based on the analysis of the interannual dynamics of aquatic plant proliferation on the lake water body from 1973 to 2019, using the remote sensing tool. The normalized difference vegetation index (NDVI) was applied on Landsat images, followed by thresholding based on the minimum and maximum NDVI value. The results show a regression of aquatic vegetation from more than 5000 ha in 1977 to about 1000 ha in 1985 before the construction of the Dama dam. The "post-dam" period is marked by an extension of aquatic vegetation reaching between 2015 and 2019 proportions three (3) times higher (about 10,000 ha) than the average area calculated over the "pre-dam" period (about 3000 ha). It emerges from this study that the dynamics of the proliferation of plants on the lake is contrasted from one year to another.

**Keywords :** *Lake Guiers, Landsat, remote sensing, aquatic vegetation.*

## 1. Introduction

Une plante envahissante est, une plante exotique ou native qui dispose d'un avantage compétitif lui permettant, à la suite de la disparition des obstacles naturels à sa prolifération, de s'étendre rapidement et de dominer de nouvelles aires dans les écosystèmes receveurs, au sein desquels elle devient une population dominante [1]. La prolifération des plantes envahissantes exotiques constitue l'une des menaces majeures pour la biodiversité au niveau mondial [2]. Les changements d'utilisation des terres causés par les actions humaines facilitent l'établissement, l'abondance et la prolifération des plantes envahissantes [3]. Dans le bassin du fleuve Sénégal, la mise œuvre de grands projets hydroélectriques et agricoles constitue une forte pression anthropique sur la principale ressource en eau de surface du pays qu'est le lac de Guiers. La qualité des eaux s'est aussi sensiblement altérée avec l'expansion de l'agriculture irriguée [4]. Le rejet direct d'effluents liquides chargés (Azote, Phosphore et Chlorures) provenant des eaux de drainage non traitées des périmètres irrigués a entraîné une véritable pollution de ce milieu [5]. Ces nouvelles conditions écologiques ont favorisé la prolifération de végétaux aquatiques envahissants, mais également une eutrophisation des eaux en relation avec un important développement algal. L'envahissement du lac de Guiers par les plantes aquatiques, en particulier par *Typha australis*, a été signalé depuis fort longtemps [6]. Certains auteurs font état de cycles de prolifération et de recul de la végétation aquatique liés essentiellement aux conditions hydrologiques naturelles et à la qualité de l'eau du lac [7, 8]. Depuis la mise en service du barrage de Dama en 1986, le retour à des conditions hydrologiques et chimiques semblables à celles des années 1940 et 1950 a favorisé une réapparition progressive des plantes aquatiques. La situation atteint son paroxysme à partir de 1991 voire 1992, avec la prolifération de *Pistia stratiotes* et de *Typha australis*. Le relèvement du niveau du lac, sa stabilité, l'élimination de la décrue et les nouvelles conditions de qualité de l'eau, ont entraîné une présence quasi permanente de la végétation aquatique dont le cycle de développement est fonction des changements du régime hydrologique du lac et du taux de minéralisation des eaux. Les études [9, 10] sur les espèces végétales aquatiques envahissantes du lac de Guiers révèlent que la séquence de végétation la plus fréquente est *Ceratophyllum demersum*, *Pistia stratiotes*, *Nymphaea sp*, *Echinochloa stagnina*, *Typha australis*, *Phragmites australis* et *Chrysopogon sp*. Parmi ces espèces, les plus présentes demeurent *Typha australis* et *Pistia stratiotes* [11]. La prolifération des plantes aquatiques est devenue un sérieux problème environnemental et socio-économique dans la zone du lac. Elle laisse entrevoir des inconvénients majeurs tels que :

- La colonisation des rives du lac et des chenaux d'irrigation,
- Les difficultés d'accès aux abords du lac pour l'alimentation en eau des populations et l'abreuvement du bétail,

- L'obstruction des débarcadères pour la pêche,
- Le pourrissement des tiges et envasement, entraînant l'altération de la qualité de l'eau.

La cartographie périodique et le suivi de la végétation aquatique peuvent aider à la gestion rationnelle des ressources naturelles et de l'environnement du lac. Ce travail basé sur la cartographie de la végétation aquatique sur différentes périodes, en utilisant l'outil télédétection est une contribution à l'analyse spatiale et temporelle des étendues de la végétation aquatique envahissante dans le lac de Guiers. L'objectif visé, est de faire un suivi par cartographie de la dynamique de la prolifération des plantes aquatiques envahissante au lac de Guiers.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

Le Lac de Guiers est une réserve d'eau douce située au nord du Sénégal, entre 16°00'-16°30' de latitude Nord et 15°40'-16°00' de longitude Ouest (**Figure 1**). C'est un petit lac situé dans une vaste dépression longue de 50 km, avec une largeur maximale de 7 Km. Le réservoir, défini par le lac et les digues de ceinture, permet de stocker jusqu'à 700 millions de m<sup>3</sup> entre le niveau maximum de 2,5 m et le niveau minimum [12]. Il est localisé dans une zone semi-désertique qui appartient à la région écologique sahélienne [13]. Le lac de Guiers est relié au fleuve Sénégal, dont il dépend sur le plan hydrologique, par la Taoué, une rivière canalisée [14]. Son niveau est régulé grâce au pont barrage de Richard-Toll situé sur la Taoué au Nord et à la digue de Keur Momar Sarr située au Sud [15]. Il est actuellement la principale source d'alimentation en eau potable de nombreuses agglomérations sénégalaises comme Dakar, Thies, Touba et Louga. La région du lac est également une importante zone de production agricole et pastorale pour la consommation locale et l'exportation [16]. Le lac peut être subdivisé en trois grandes régions naturelles [17] : (i) une région nord située à proximité des grands périmètres irrigués ; (ii) une région centre où s'effectuent les prélèvements de la Société Des Eaux (SDE) pour l'approvisionnement en eau potable et (iii) une région sud très peu profonde, parsemée d'îlots qui sont envahis par une végétation macrophytes dont *Typhadomingensis*. Cette zone est limitée par la digue de Keur Momar Sarr qui régule les écoulements vers le sud (**Figure 1**). Les zones nord et centre constituent près de 90 % du volume total des réserves en eau du lac [18]. Le climat de la zone est de type sahélien, avec deux saisons : une saison sèche (octobre à juin) et une saison pluvieuse (juillet à septembre) marquée par une forte variabilité interannuelle des précipitations avec un cumul moyen annuel compris entre 100 et 400 mm. La zone est balayée essentiellement par deux types de vents qui contrôlent les saisons, l'harmattan en saison sèche (direction majeure NE-SW) et la mousson de SW qui apporte la pluie. La zone est couverte par une végétation de type steppe arbustive. La géologie comprend les sables du Quaternaire recouvrant les terrains du Tertiaire.

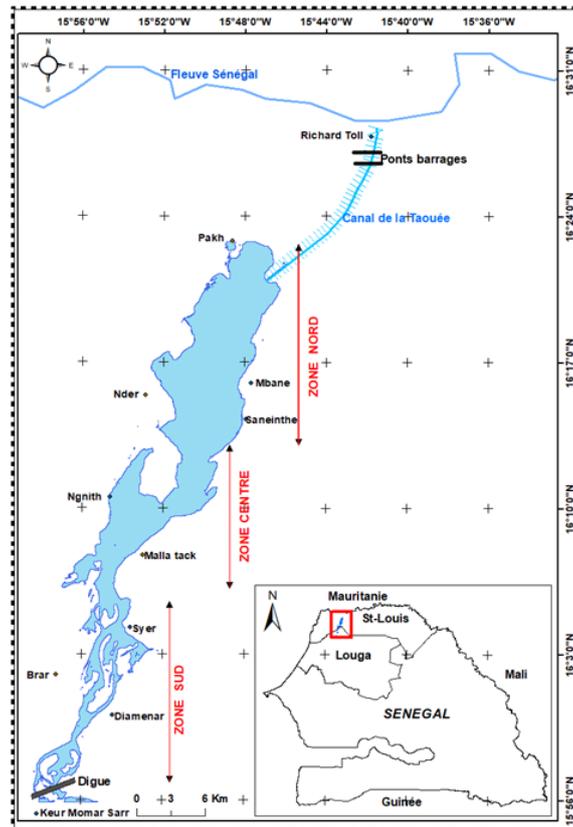


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

## 2-2. Données utilisées

Le suivi des plantes aquatiques envahissantes a été réalisé par Télédétection, grâce à une base de données multitemporelles Landsat couvrant une cinquantaine d'années (1973 - 2019). Cette base de données comprend douze (12) images, dont quatre (4) acquises avant et huit (8) après l'édification du barrage de Diama (*Tableau 1*).

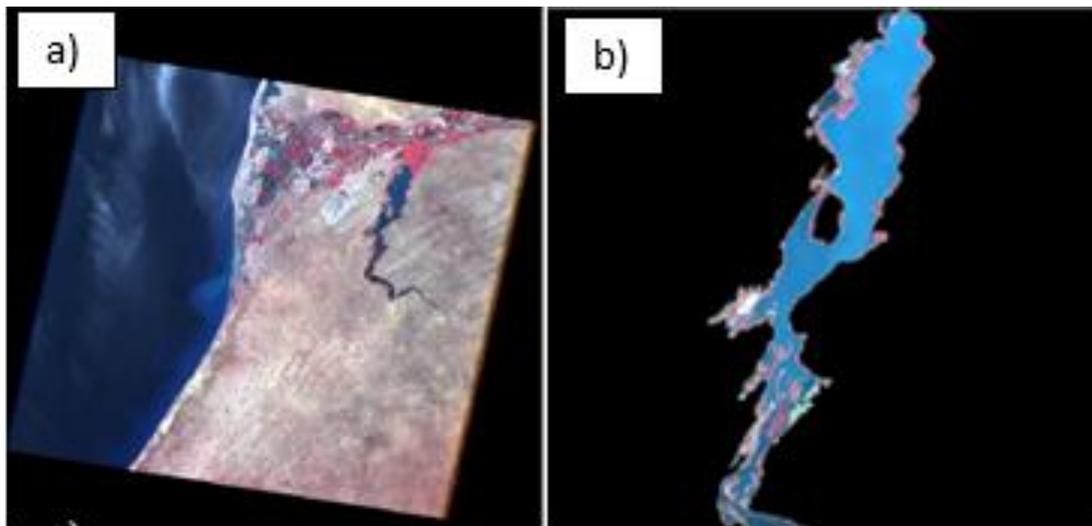
Tableau 1 : Base de données multitemporelles Landsat (1973 - 2019) pour le suivi de la végétation aquatique du lac de Guiers

Période d'acquisition	Date d'acquisition	Capteur/plateforme	Résolution spatiale (m)
Avant barrage	16 avril 1973	MSS / Landsat 1	80
	6 novembre 1977	MSS / Landsat 2	80
	28 avril 1981	MSS / Landsat 2	80
	21 janvier 1985	TM / Landsat 5	30
Après barrage	21 décembre 1990	TM / Landsat 5	30
	6 mai 1994	TM / Landsat 5	30
	14 mars 1998	TM / Landsat 5	30
	4 mars 2003	ETM+ / Landsat 7	30 m bandes multispectrales 15 m bande panchromatique
	7 mars 2007	TM / Landsat 5	30
	14 février 2011	TM / Landsat 5	30
	14 avril 2015	OLI / Landsat 8	30 m bandes multispectrales 15 m bande panchromatique
	25 avril 2019	OLI / Landsat 8	30 m bandes multispectrales 15 m bande panchromatique

## 2-3. Méthode

### 2-3-1. Définition de la zone d'intérêt

La végétation aquatique, en occurrence le *Typha australis*, se développe essentiellement en eaux peu profondes, en particulier au niveau des rives du lac. Sur l'image Landsat la zone d'intérêt, dans laquelle on veut étudier la végétation aquatique est extraite à l'aide de l'outil « AOI » (Area Of Interest) du logiciel Erdas imagine version 2014 (*Figure 2*).



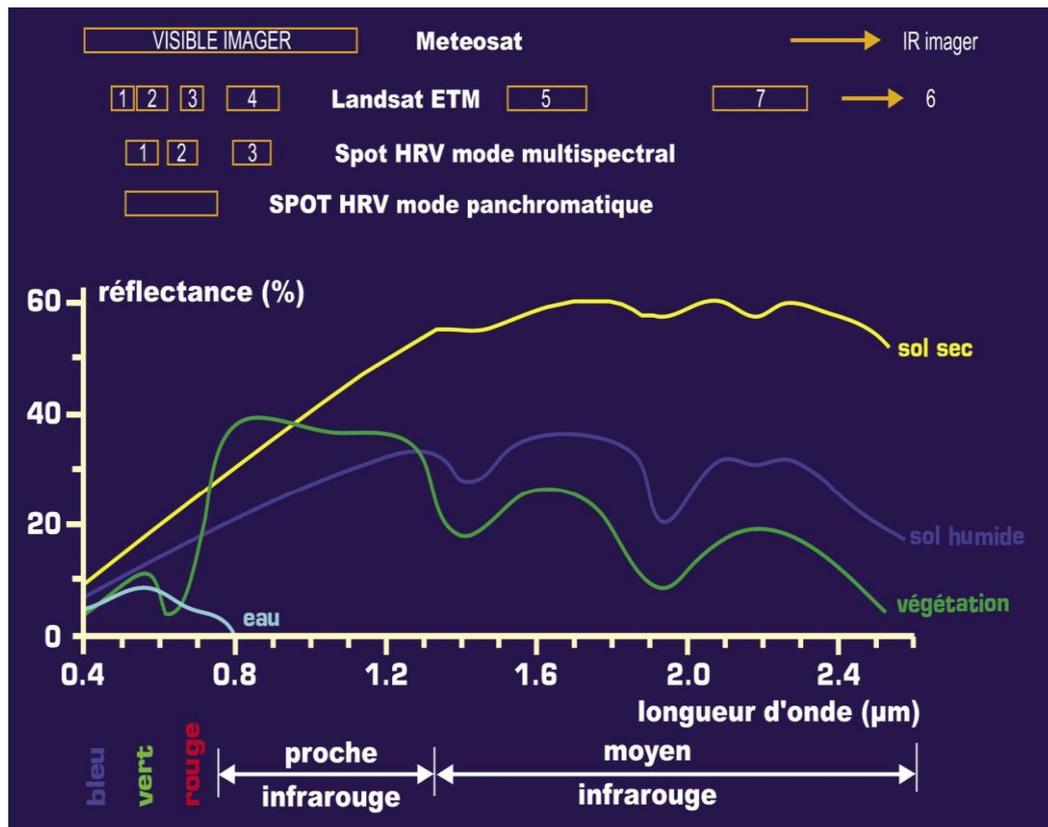
**Figure 2 :** *Extraction de la zone d'intérêt pour la cartographie de la végétation aquatique du lac de Guiers. a) Image Landsat brute ; b) Image de la zone d'intérêt extraite*

### 2-3-2. Calcul du NDVI

L'activité de photosynthèse commande la signature spectrale de la feuille vivante qui, dans le domaine des longueurs d'onde du Visible, absorbe les rayonnements Bleu et Rouge et réfléchit le Vert (*Figure 3*) d'où l'apparence verte de la végétation saine. Le passage du Rouge à l'Infrarouge est marqué par une pente abrupte de la courbe, traduisant, un accroissement exponentiel de la réflectance. Des propriétés spectrales de la feuille vivante, découle l'indice de végétation ou indice de biomasse (Leaf Area Index, LAI) qui permet d'évaluer les quantités de végétation sur un espace donné. Il est obtenu en faisant le rapport suivant :

$$LAI = \frac{PIR}{R} \quad (1)$$

*R est le canal du Rouge et PIR le canal du Proche Infra Rouge.*



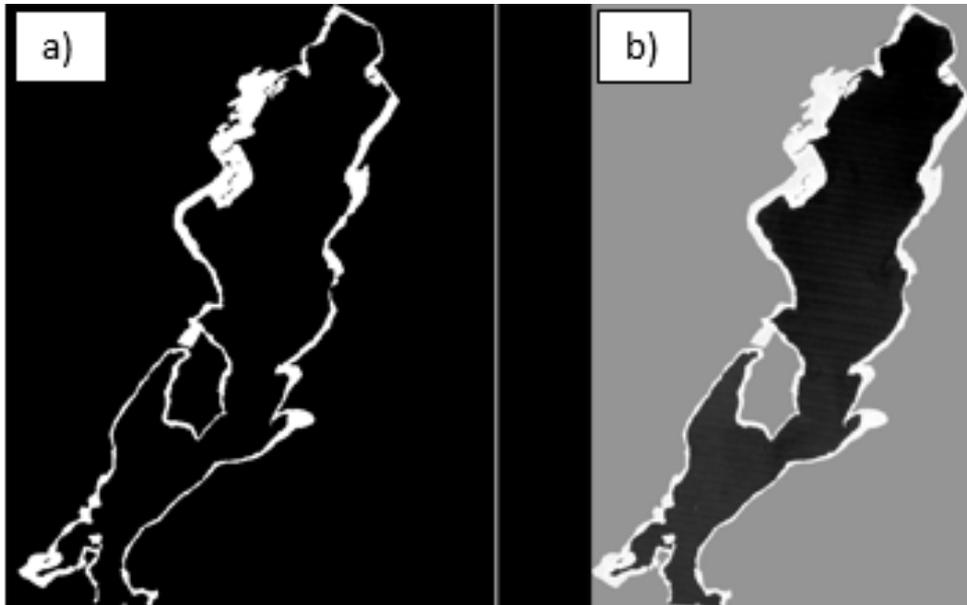
**Figure 3 :** Illustration de la position des bandes spectrales de quelques capteurs et signatures spectrales de différents objets, y compris la végétation (Source : Wageningen University)

Cet indice simple donne de bons résultats dans des environnements de forêts denses où le rayonnement solaire incident tombe systématiquement sur le toit de la canopée. Par contre en contexte de végétation moins dense ou clairsemée, le rayonnement incident atteint parfois le sol, sous la végétation. L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est proposé avec pour objectif de corriger ou réduire l'influence des sols sous-jacents aux couverts végétaux sur le signal mesuré au niveau du capteur. C'est un indice normalisé qui permet de générer une image affichant la couverture végétale (biomasse relative). Il repose sur le contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multispectral : l'absorption du pigment chlorophyllien dans le canal rouge (R) et la haute réflectivité des matières végétales dans le canal proche infrarouge (NIR). L'indice NDVI est utilisé dans le monde entier pour la discrimination et la surveillance de la végétation [4]. Il est le plus couramment utilisé pour étudier les modifications de la couverture végétale à grande échelle à partir d'une série temporelle à haute répétitivité durant les deux dernières décennies [19 - 21]. Il est obtenu en faisant le rapport suivant :

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \quad (2)$$

L'indice NDVI est compris entre -1 et + 1. Les valeurs négatives désignent les types de surface à couvert non végétal, comme la neige, l'eau ou les nuages et pour lesquels la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales, quant à elles, possèdent des valeurs de NDVI positives. Plus la valeur est élevée, plus le couvert végétal est dense. Le résultat du calcul de l'indice NDVI est une image en niveaux de gris. L'étape suivante du traitement est la détermination d'un seuil ou valeur de partition à appliquer sur l'image. Ce « seuillage » permet de

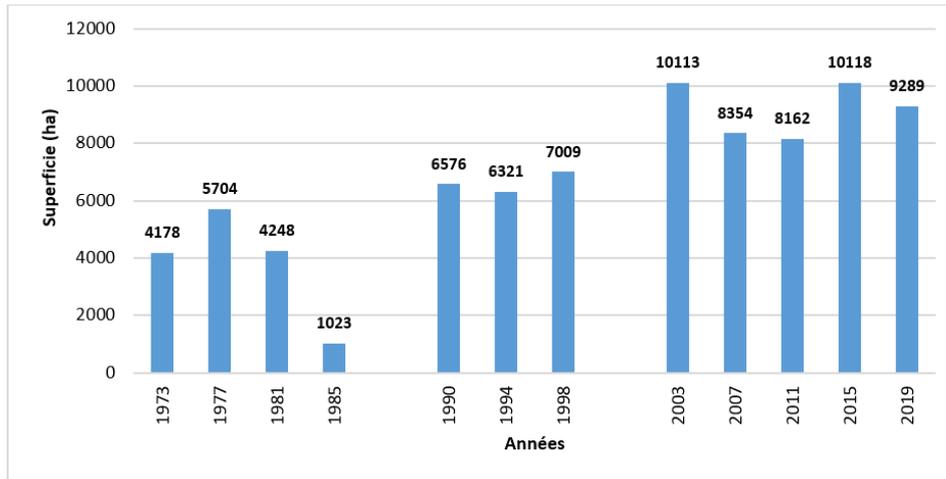
sélectionner les parties de l'image qui intéressent l'opérateur. Pour sélectionner des objets, il faut choisir les limites dans lesquelles se situent les gammes de pixels à considérer. Le seuillage simple consiste à ignorer (mettre à zéro) tous les pixels ayant un niveau de gris inférieur à une certaine valeur-seuil (threshold), et à fixer une valeur maximale pour les pixels ayant une valeur supérieure. Le résultat du seuillage est une image binaire contenant des pixels noirs et blancs (**Figure 4**); ce qui explique l'emploi du terme « binarisation ».



**Figure 4 :** *Extraction des pixels végétation par la technique de seuillage : a) - Image binaire ; b) - image résultant du NDVI. La végétation aquatique apparaît en clair sur l'image*

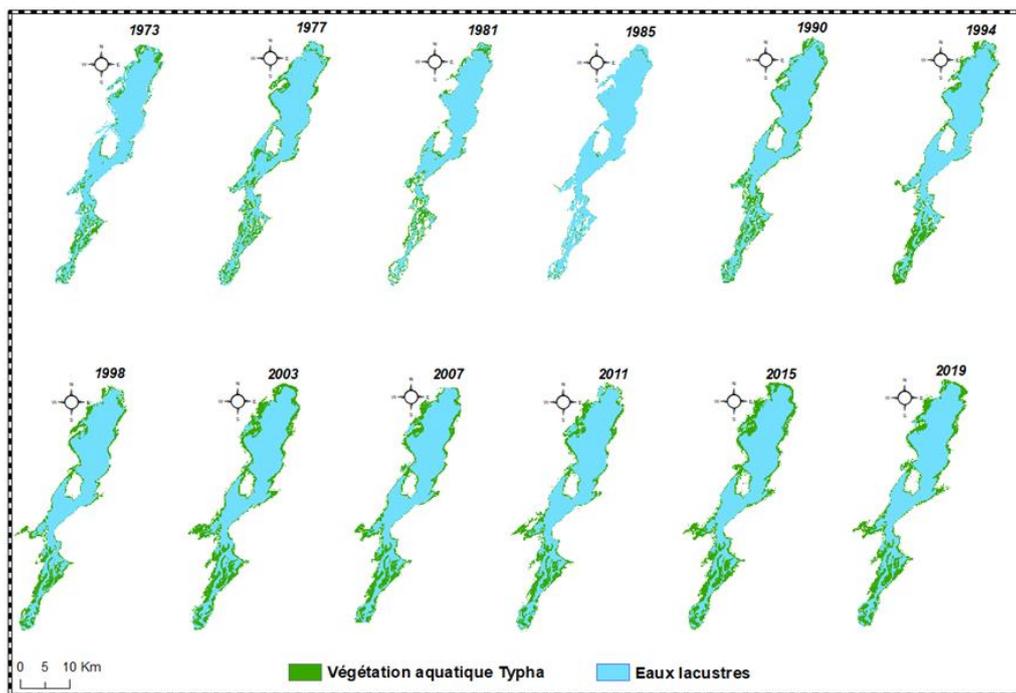
### 3. Résultats

L'étude de la dynamique des plantes aquatiques envahissantes sur le lac de Guiers a été réalisée grâce à une série d'images satellitaires Landsat de 1973 à 2019. Le traitement de l'ensemble des images NDVI a permis d'estimer la superficie des étendues des peuplements de plantes aquatiques envahissantes sur le lac afin de suivre leurs évolutions interannuelles. Les superficies occupées sont présentées sur la **Figure 5** et la distribution spatiale de la végétation aquatique est indiquée à la figure 6. Ces figures permettent de faire une comparaison des résultats du calcul des superficies occupées par la végétation aquatique du lac, entre 1973 et 1985 (période avant construction et mise en service du barrage) et entre 1990 et 2019 (période après-barrage). La figure 5 indique que la superficie occupée par la végétation aquatique n'évoluait pas de façon croissante, avant la mise en service du barrage de Diama. Une forte baisse des étendues de cette végétation a été observée en 1985.



**Figure 5 :** Résultats du calcul de l'aire d'extension de la végétation aquatique du lac «avant» et « après » la construction du barrage anti-sel de Diama

A l'opposé, durant la période « après-barrage », la végétation aquatique continue d'envahir le lac, atteignant dans les années 2015 et 2019 des proportions trois (3) fois supérieures (environ 10 000 ha) à la superficie moyenne calculée sur la période « avant-barrage » (environ 3000 ha). La **Figure 6** illustre l'évolution du phénomène d'invasion du lac par *Typha australis* entre 1973 et 2019.



**Figure 6 :** Cartes d'occupation spatiale de la végétation aquatique du lac de Guiers en 1973 - 2019

### 3-1. Évolution de la végétation dans les années d'avant barrage

En 1973, la végétation aquatique occupait une superficie de 4178 ha, elle était plus présente dans les zones nord, nord-ouest et sud du lac. En 1977, la superficie couverte par la végétation a connu une augmentation de plus de 1000 ha soit 15,26 % par rapport à l'année 1973, passant de 4178 à 5704 ha. En plus des zones où elle était présente en 1973, cette végétation occupait également la partie centrale du lac. Cet accroissement

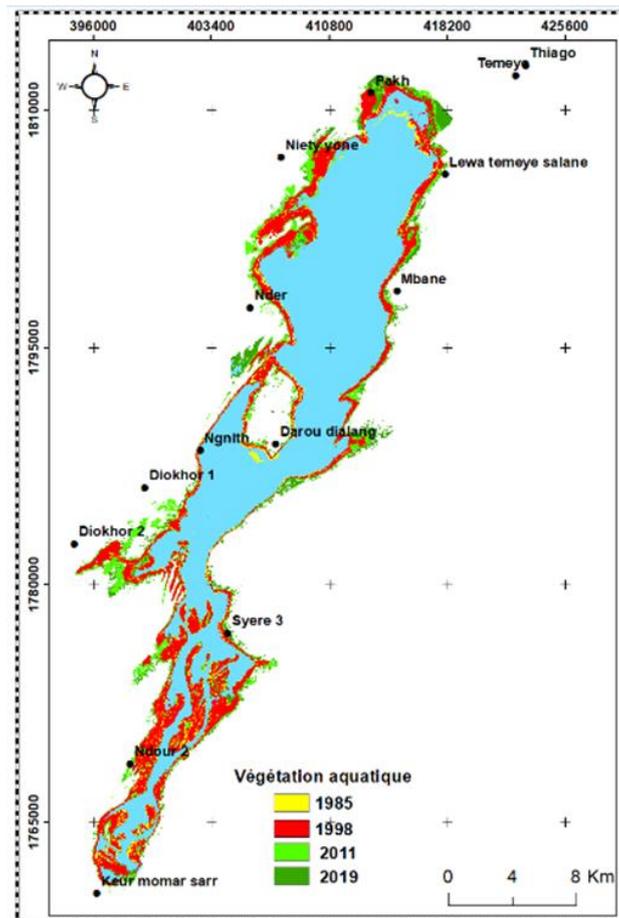
peut s'expliquer par le fait que l'année 1977 se trouve dans une période considérée par [9] comme favorable au développement de la végétation aquatique, en raison des conditions limnimétriques et hydrologiques propices, notamment la permanence des eaux, la stabilité du niveau d'eau à environ 1 m et le faible taux de minéralisation. La salinité des eaux du lac très élevée (supérieure à 1200 mg/l) dans les années 1973 a beaucoup baissé au fil des années [16]. Une baisse sensible des étendues de cette végétation est observée en 1981 par rapport à l'année 1977. La situation reste semblable à celle de 1973 avec une légère augmentation de 70 ha de superficie en 1981 qui s'explique par l'apparition de la végétation dans la partie centrale du lac, zone où elle était presque absente en 1973. En 1985, la couverture spatiale de la végétation était très réduite. Entre 1981 et 1985, elle est passée de 4178 à 1023 ha, soit une forte baisse de 3155 ha. Cette situation est à mettre en relation avec les conditions de plus en plus défavorables à leur développement, notamment la non-permanence des eaux, les séries d'étiages prononcés et la pénétration de la langue salée dans le lac. Cette année est également marquée par la baisse de la pluviométrie locale et la faiblesse des crues matérialisée surtout par une très faible couverture végétale ; quelques touffes de végétation aquatique sont observées sur les berges du lac [4]. La distribution spatiale de la végétation aquatique observée sur la figure 6, montre une apparition toujours plus abondante des plantes aquatiques dans la partie sud du lac quelle que soit l'année considérée.

### 3-2. Évolution de la végétation dans les années d'après barrage

L'entrée en fonction du barrage de Diama marque définitivement la fin des situations défavorables au développement des plantes aquatiques sur le lac de Guiers. C'est l'ère de la prolifération de la végétation aquatique. Les surfaces occupées peuvent parfois baisser, mais restent toujours à des niveaux très élevés. La vitesse de progression de la végétation aquatique après la mise en place du barrage peut être estimée en moyenne à 11 % par an soit près de 365 ha par an [16]. Les résultats présentés comme suit, montrent que la dynamique de la prolifération des végétaux aquatiques sur le lac est contrastée d'une année à une autre. En 1990, cinq ans après la construction du barrage de Diama, la surface occupée par les plantes aquatiques a plus que quintuplé, passant de 1023 ha en 1985 à 6576 ha en 1990. La végétation est très présente au sud et sur toute la périphérie du lac. En 1994, la superficie couverte par les plantes aquatiques a diminué de 255 ha par rapport à l'année 1990. Cette régression s'explique par l'absence de végétation sur les bordures de la partie centrale du lac. En 1998, la couverture végétale du lac était de 7009 ha soit une extension de 688 ha. La végétation est bien observée dans la zone sud et sur les bordures ouest, nord et est du lac, mais elle est moins marquée dans la partie centrale. De 1998 à 2003, on note une forte hausse du couvert végétal sur le lac qui passe de 7009 ha à 10113 ha. Cette végétation est très présente dans les zones sud et ouest, on l'observe également sur tout le pourtour du lac. En 2007, L'absence de végétation sur les bordures de la partie centrale du lac explique la diminution du couvert végétal par rapport à 2003. La superficie est passée de 10 113 à 8352 ha, soit une régression de 1761 ha. De 2007 à 2011, on assiste à une faible régression de la surface couverte par les végétaux, avec une distribution spatiale quasiment identique. En 2015, le lac est littéralement envahi par les plantes aquatiques, avec un couvert végétal de 10118 ha. On note une situation semblable à celle de 2003 où la végétation colonisait tout le lac. En 2019, on note une baisse du couvert végétal du lac de 829 ha par rapport à 2015, malgré la présence de la végétation aquatique sur tout le périmètre du lac. Après la mise en service du barrage de Diama, la tendance de l'évolution de la couverture des végétaux sur le lac au cours des années n'est pas à sens unique, elle croit par moment avant de décroître pendant une série d'années. Malgré ce contraste sur l'évolution du couvert végétal sur le lac de 1990 à 2019, on constate de façon générale une forte colonisation de la surface du lac par les plantes envahissantes. Sur cette série temporelle, l'analyse de la couverture végétale sur le lac montre que l'année 2015 correspond à l'année où la couverture végétale était la plus importante sur le plan d'eau. Par contre, l'année 1994 correspond à l'année où la couverture végétale était minimale.

### 3-3. Synthèse de l'évolution de la végétation aquatique

La carte de synthèse de l'occupation spatiale de la végétation aquatique, réalisée en superposant dans l'ordre les couches de végétation des années 2019, 2011, 1998 et 1985 (**Figure 7**), montre la faible présence des plantes aquatiques en 1985. Cette année charnière correspond au début des chantiers du barrage de Diama, la végétation aquatique n'est observée qu'au nord et au sud du lac. En 1998, soit 13 ans après la construction et la mise en service du barrage, le lac est fortement colonisé par les plantes aquatiques dans sa partie sud et sur les zones périphériques. L'expansion de la végétation aquatique s'accroît jusqu'en 2011, couvrant sur les bordures des surfaces plus importantes qu'en 1998. Entre 2011 et 2019, les plantes aquatiques continuent d'envahir le lac.



**Figure 7 :** Carte de synthèse de l'occupation spatiale de la végétation aquatique du lac de Guiers pour les années 1985, 1998, 2011 et 2019

## 4. Discussion

L'imagerie satellitaire contient des informations utiles pour le suivi environnemental de la végétation aquatique. Dans la présente étude, les données Landsat/TM/ETM+/OLI ont été utilisées pour la cartographie de la végétation aquatique envahissante. Le suivi de la végétation aquatique par télédétection, a permis de noter qu'en moyenne 3000 ha sont occupés durant la période « avant barrage ». Entre 2015 et 2019, la superficie couverte est passée à environ 10 000 ha, soit des proportions trois (3) fois supérieures à la période « avant-barrage ». La superficie envahie par la végétation aquatique a beaucoup augmenté dans la période après-barrage [22].

#### 4-1. Distribution spatiale de la végétation aquatique au lac de Guiers

L'analyse spatiale des cartes obtenues après traitement des images Landsat permet de constater une présence permanente des végétaux aquatiques au fil des années, avec des proportions différentes. Les abords du lac sont des zones fortement colonisées par les plantes aquatiques. Cette situation peut s'expliquer par la sédimentation au niveau du lac qui favorise le développement des plantes aquatiques envahissantes. En effet, les berges du lac étant exploitées pour les activités agricoles, peuvent être confrontées à l'érosion qui va alimenter le lac en éléments nutritifs favorisant la croissance des végétaux. Au sud du lac, la couverture végétale est quasi permanente au cours des années. Cette situation est due au fait que cette partie du lac correspond à une zone très peu profonde, parsemée d'îlots. Ce milieu présente des conditions hydrologiques et limnimétriques très favorables au développement des plantes aquatiques [9]. Au niveau de la distribution interannuelle du couvert végétal sur le plan d'eau, les tendances diffèrent d'une année à une autre, aussi bien avant et après le fonctionnement du barrage de Diama. A titre d'exemple, entre 1981 et 1985, on note une baisse de la quantité des végétaux sur la surface du lac, par contre, de 1973 à 1977 une forte expansion des surfaces colonisées par les végétaux est observée. Cette situation d'expansion ou de baisse du couvert végétal peut s'expliquer par le régime hydraulique du lac. Lorsque le taux de remplissage d'eau du lac est important au cours d'une année, les surfaces occupées par les végétaux en sont plus grandes par rapport aux années déficitaires en termes d'eau.

#### 4-2. Impact des barrages et autres aménagements sur le développement des plantes aquatiques au lac de Guiers

La végétation aquatique du lac de Guiers a fait l'objet de plusieurs études : [9, 23, 24] etc. Le *Typha*, espèce dominante a été inventoriée sur les rives du lac de Guiers depuis ces premières études en 1833 [4]. La prolifération du *Typha* dans le lac était favorisée par la construction d'un pont-barrage sur le canal de la Taouée pour empêcher l'intrusion de la langue salée provenant du delta en période d'étiage afin de réaliser une mise en valeur agricole cohérente autour du lac. Dès les premières années de fonctionnement des barrages du fleuve Sénégal, une baisse sensible du taux moyen de salinité est enregistrée. La salinité moyenne qui dépassait les 300 mg.l<sup>-1</sup> durant la période 1979-1982 se stabilise vers 200 mg.l<sup>-1</sup> vers 1992-1995 pour atteindre de 150 mg.l<sup>-1</sup> vers 2000 [22]. L'hydrologie du lac de Guiers a été profondément modifiée par la construction du barrage anti-sel de Diama mise en service en 1986, et l'édification du Canal de la Taoué qui joue un rôle d'exutoire pour les crues du fleuve Sénégal [17]. On observe des problèmes majeurs liés au processus d'eutrophisation des eaux du lac et à l'envahissement rapide de son lit par la végétation aquatique *Typha australis* qui a trouvé dans ce milieu lacustre des conditions propices à son développement [25]. Cependant, il faut souligner que la construction du barrage de Diama et les autres aménagements opérés dans le bassin du lac ne sont pas la seule cause du développement des plantes aquatiques. Ces derniers n'ont fait qu'exacerber la prolifération de cette végétation jadis présente depuis les années 1940. Cette étude le prouve par le fait qu'en 1977 soit 9 ans avant la mise en service du barrage, la superficie occupée par la végétation aquatique était de 5704 ha contre seulement 6321 ha, 8 ans après le fonctionnement du barrage.

#### 4-3. Impact de la prolifération de la végétation aquatique sur les activités socio-économiques

Les conséquences des plantes aquatiques envahissantes sont multiples. Elles concernent les dommages causés à l'agriculture et les effets écologiques sur la biodiversité [26]. La prolifération du *Typha* dans la région du lac, constitue une contrainte sérieuse pour la sécurité alimentaire car elle impacte directement les activités socio-économiques que sont la pêche, l'agriculture et l'accès à l'eau dans une zone où les activités des populations sont largement tributaires des eaux du lac [4]. Le *Typha* envahit les grands axes hydrauliques

pour l'irrigation et les collecteurs de drainage. Les écoulements dans ces canaux sont freinés et de ce fait l'efficacité hydraulique générale des aménagements est de plus en plus mauvaise. L'un des problèmes rencontrés au lac de Guiers est l'existence d'un rideau dense de typha, qui ceinture presque totalement le plan d'eau, ce qui rend difficile l'accès à cette ressource pour les besoins de la pêche et de maraîchage. La pullulation des plantes aquatiques accroît par ailleurs les problèmes sanitaires avec la multiplication des zones favorables au développement des moustiques et de certains mollusques vecteurs de maladies comme le paludisme et la bilharziose [16]. Les résultats obtenus dans cette présente étude, confirment les observations soulignées dans les années 80 qui ont fait état d'une forte diminution de la végétation aquatique suites aux faibles crues dues à la sécheresse qui a sévi dans la région durant cette période. Cette étude approuve également les résultats des recherches antérieures faisant état d'un développement excessif des plantes aquatiques après la mise en service du barrage de Diama.

## 5. Conclusion

L'objectif de cette présente étude est de suivre la dynamique de la prolifération des plantes aquatiques envahissantes sur le lac de Guiers. L'analyse diachronique effectuée à l'aide des images satellitaires Landsat a permis de remonter dans le temps et de suivre l'évolution du couvert végétal sur le lac de l'année 1973 à l'année 2019. De l'analyse des cartes réalisées, il ressort une variation contrastée du couvert végétal sur le lac d'une année à une autre. On rencontre pendant la période analysée, des années où la couverture végétale sur le lac est en expansion et des années où elle décroît. Malgré tout, le constat qui découle de cette étude est l'ampleur de la présence des plantes aquatiques envahissantes sur le lac de Guiers après le fonctionnement du barrage. Les statistiques générées à partir des images classifiées mettent en évidence une augmentation de la végétation aquatique entre 1973 et 2019. Avant la mise en service du barrage anti-sel de Diama, une régression importante de la végétation a été observée en 1985, comparée aux années précédentes 1973, 1977 et 1981, l'aire d'extension du Typha ayant fortement baissé, passant de plus de 5000 ha en 1977 à environ 1000 ha en 1985. Cependant une forte expansion des végétaux aquatiques est observée après la mise en service du barrage ; les surfaces couvertes ont triplé celles notées pendant la période avant barrage. Les résultats de cette étude confortent la thèse selon laquelle la prolifération des plantes aquatiques envahissantes sur le lac de Guiers peut être liée à certains paramètres dont les conditions hydrologique et limnimétriques présentes dans le milieu qui influencent l'évolution du couvert végétal sur le lac au fil des années. Néanmoins, nous pouvons conclure que le barrage anti-sel de Diama a joué un rôle important dans la dynamique de la prolifération de la végétation aquatique dans le lac. Les résultats obtenus dans cette présente contribution peuvent aider à :

- Mieux comprendre la dynamique des plantes aquatiques envahissantes,
- Prévoir des mesures d'interventions dans le but de lutter contre ces plantes,
- Mener une étude plus poussée de l'eutrophisation au niveau du lac.

La prise en compte de ces recommandations serait une piste de solution pour limiter les impacts de la prolifération des plantes aquatiques sur la biodiversité des zones humides.

- L'utilisation du typha pour l'artisanat, la médecine traditionnelle, les matériaux pour l'habitat, l'alimentation, l'épuration des eaux usées et la valorisation énergétique,
- La valorisation du typha comme une bonne alternative face à l'existence en grande quantité de cette biomasse jugée la plupart du temps « inutile » par les populations. La lutte contre cette plante combinée à sa valorisation semble être une des voies les plus prometteuses pour contrôler la prolifération de la plante et réparer les dommages économiques qu'elle entraîne.

## Références

- [1] - A. AKODEWOU, J. OSZWALD, S. AKPAVI, L. GAZULL, K. AKPAGANA et V. GOND, Problématique des plantes envahissantes au sud du Togo (Afrique de l'Ouest): apport de l'analyse systémique paysagère et de la télédétection, *BASE* [En ligne], Vol. 23, N° 2 (2019) 88 - 103 URL : <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=17750>
- [2] - S. MAXWELL, R. FULLER, T. BROOKS, Biodiversity : The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, 536 (2016) 143 - 145. <https://doi.org/10.1038/536143a>
- [3] - V. MONTSERRAT & I. IBÁÑEZ, Plant invasions in the Landscape. *Landscape Ecol.*, 26 (2011) 461 - 472. [10.1007/s10980-011-9585-3](https://doi.org/10.1007/s10980-011-9585-3)
- [4] - MBOUP, Changements sociaux-environnementaux et dynamique de la végétation aquatique envahissante dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat unique, université Cheikh Anta Diop, Dakar, (2014) 230 p.
- [5] - B. CISSE, Les eaux de drainage des périmètres irrigués du delta du fleuve Sénégal : Système d'évacuation et qualité des eaux. Thèse de doctorat de troisième cycle géographie, université Cheikh Anta Diop, Dakar, (2011) 310 p.
- [6] - M. LEUDELLOT, M. LELIEVRE, *Journal d'un voyage au lac de N'ghier ou Paniefoule*. Manuscrit, original. Archives nationales du Sénégal. Ref. P273, (1928) 14 p.
- [7] - J. G. ADAM, Contribution à l'étude de la végétation du lac de Guiers (Sénégal). *Bull IFAN*, 26 (1) (1964) 1 - 72 p.
- [8] - A. THIAM, Contribution à l'étude phytoécologique de la zone de décrue du lac de Guiers (Sénégal)". Thèse de 3<sup>e</sup> cycle en Sciences de l'environnement, I.S.E., Faculté des Sciences, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (1984) 101 p. + annexes
- [9] - F. X. COGELS, M. CARN, A. NIANG, J. Y. GAC, La qualité des eaux du lac de Guiers. 1. Bilan qualitatif - 2. Effets des aménagements du fleuve Sénégal - 3. Première utilisation d'un modèle de gestion qualitative. Doc. Multigr. ORSTOM - CEE, (1993) 52 p.
- [10] - A. THIAM, R. NDIAYE, M. OUATTARA, Macrophytes aquatiques et zooplancton du lac de Guiers. Institut des Sciences de l'Environnement (ISE). Projet 2 : ISE/FUL, Rapport, (1993) 55 p.
- [11] - S. GUEYE, Étude de l'évolution de la région du lac de Guiers : apports de la télédétection au suivi du milieu. Mémoire de Maîtrise, Université Gaston Berger de Saint-Louis, (1999) 114 p.
- [12] - A. THIAM, Étude de la flore vasculaire, de la végétation et des macrophytes aquatiques proliférant dans le Delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers Thèse de doctorat d'État en Sciences Naturelles, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (2012) 236 p.
- [13] - P. DIOP, Vers une stratégie de gestion participative multi-usages de la ressource en eau dans le delta du Fleuve Sénégal : processus de décision et outils de régulation autour du lac de Guiers. Thèse de doctorat de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar et de l'université Paris- Saclay, (2017) 370 p.
- [14] - A. KANE et A. FALL Hydrologie. in Atlas du Sénégal. Paris. Editions du Jaguar, (2007) 64 p., 463 - 468 p.
- [15] - S. SANE, N. BA, P. SAMB, K. NOBA, et R. ARFI. "Moteurs et conséquences de la resuspension dans un lac sahélien peu profond : le lac de Guiers au Sénégal." *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9, N°2 (2015) 927. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.30>
- [16] - V. M. FAYE, C. MBOW et A THIAM, Évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol entre 1973 et 2010 dans la zone agropastorale du lac de Guiers (Sénégal), *Vertigo — la revue électronique en science de l'environnement*, Vol. 16, N° 1 (2016). <http://journals.openedition.org/vertigo/17206> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.17206>
- [17] - F. X. COGELS, A. NIANG, A. COLY, J. Y. GAC, le lac de Guiers : Étude générale du système lacustre et problématique de gestion. Doc. Multigr. ORSTOM- CEE, (1994) 69 p.

- [18] - J. Y. GAC, A. COLY, A. NIANG, M. CARN, F. X. COGELS, Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1992. Vers une gestion concertée des crues du fleuve Sénégal. *Doc. Multigr. ORSTOM-CEE*, (1993) 21 p.
- [19] - N. B. MISHRA, K. P. MAINALI, Greening and browning of the Himalaya: Spatial patterns and the role of climatic change and human drivers, *Science of the Total Environment*, (2017) 587 - 588 p., 326 - 339 p. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2017.02.156
- [20] - E. TEFERI, S. UHLENBROOK et W. BEWKET, Inter-annual and seasonal trends of vegetation condition in the Upper Blue Nile (Abay) Basin: dual-scale time series analysis, *Earth System Dynamics*, 6 (2015) 617 - 636 p.
- [21] - B. J. B. ZOUNGRANA, C. CONRAD, M. THIEL, L. K. AMEKUDZI et E. D. DA, MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa, *Journal of Arid Environments*, 153 (2018) 66 - 75 p. DOI : 10.1016/j.jaridenv.2018.01.005
- [22] - A. NIANG, Aménagement du lac de Guiers de 1824 à l'avènement des grands barrages du fleuve Sénégal : prospective géographique. *Climat et Développement*, N°12 (2011) 27 - 38 p.
- [23] - A. D. DIA, Stratégies de luttés contre la prolifération de typha australis (espèce envahissante) au Parc National de Diawling (Mauritanie) : La lettre des Aires Protégées en Afrique de l'Ouest, N°19 (2009) 2 - 4 p.
- [24] - TIDJANI, Les plantes envahissantes : une menace à la biodiversité ; VIE, N°12 (2009) 38 - 46 p.
- [25] - C. CASTELLANET, S. DIALLO, L. TOURE, M.C. LE CUAN, G. BOISSET, A. HUBERT, A. NDIR, Etude pour l'évaluation des besoins pour le contrôle du Typha dans le delta du fleuve Sénégal et en Mauritanie. *PGIRE*, (2019) 114 p.
- [26] - R. A. HOLOU, E. G. ACHIGAN-DAKO, B. SINSIN, Ecology and management of invasive plants in Africa. In : *Invasive Plant Ecology*, CRC PRESS, (2013) 161 - 174